

인버터 구동방식을 이용한 냉각수 펌프의 에너지 절감 방법

건물이나 공장에서 흔히 볼 수 있는 기계 중의 하나가 유체 기계인 펌프와 송풍기다. 이러한 기계의 회전수를 제어할 수 있는 방법으로 인버터가 있다. 이는 어떤 신호를 받아 주파수를 변화시켜 유체기계의 회전수를 변화시킴으로 소비동력을 줄여주는 에너지 절감 시스템이다. 목포해양대학교 실습선 사례를 통해 인버터 구동방식에 의한 실습선 냉각수 펌프의 에너지 절감 방법을 알아본다.

글 임명환(목포해양대학교 실습선 기관장, 공학박사)

서론

산업현장에서 유도전동기의 용량을 산정할 때는 과부하상태를 대비하여 보통 20~30% 여유율을 두고 선정되며, 운전패턴에 따라 중부하와 경부하를 오르내리는 부하변동으로 운전시간 중 상당부분이 정격보다 낮은 경부하 상태에서 운전하게 된다. 전동기는 최대부하에 맞도록 선정해야 하기 때문에 대부분의 전동기는 규약 효율보다 낮은 상태에서 운전되고 있다. 경부하 상태에서 유도전동기의 입력전압을 조절하여 운전효율을 꺾는 방법¹⁾들이 여러 면에서 진행되어 왔다. 유도전동기의 운전조건에 항시 적응하여 효율을 개선할 수 있다면 전력손실을 감소시켜 에너지 절감²⁾에 큰 역할을 할 것이다.

선박의 냉각수 계통을 설계할 때는 해수온도를 32℃인 표준주위 환경조건³⁾에 따라 설계하고 있다. 따라서 우리나라처럼 여름을 제외한 3계절은 냉각수량이 남아 용량을 조절하기 위해서 바이패스 라인이나 밸브의 개도를 조절하여 용량을 조절한다. 이렇게 불필

요한 용량으로 인해 마우스링, 고가의 메카니컬 씸(Seal)의 마모 및 임펠러와 해수파이프의 부식을 가속시키고, 이로 인한 안전운항과 유지보수비용의 증가로 연결된다.

특히, 목포해양대학교 실습선처럼 목포항 정박 중에는 육상전원(440V)을 이용하여 펌프를 구동하는 경우, 펌프의 전력소모가 상당한 비중을 차지하게 된다. 따라서 항시 가동하는 냉각수 펌프에 인버터를 설치하여 운전한 결과, 에너지 절감 및 그에 따른 부수적인 절감효과를 거두고 있다.

인버터의 개념과 특성

인버터는 직류를 교류로 변환시키는 전력변환 장치로 주파수 변환기로 사용된다. 인버터는 전압과 주파수의 변화에 따라 VVVF와 CVVF로 운전되는데 정격주파수 이하에서는 VVVF로 사용되고



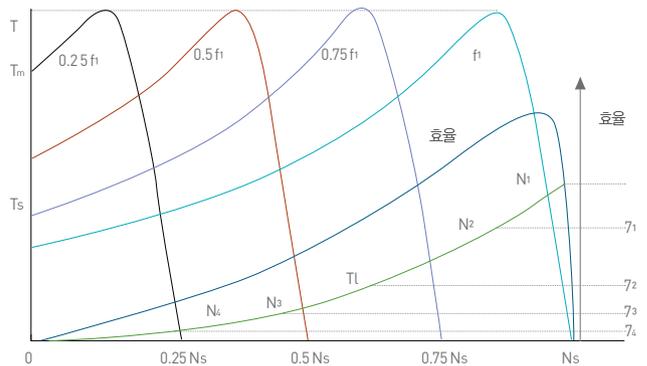
정격주파수보다 높을 경우에는 CVVF로 운전된다.
교류전원에서 주파수가 낮아지면 임피던스가 작아지므로 전압을 그대로 인가하면 과전류가 흘러 전동기나 인버터가 소손된다.

$$[\text{식}]$$

$$\phi = 4.44K \frac{f}{E}$$

따라서 [식]과 같이 항상 자속은 일정하게 유지하여야 함으로 인버터의 장점은 주파수를 제어해서 [식]와 같이 회전수를 제어할 수 있다. 인버터를 사용하면 역률이 좋아지고 필요한 주파수에서 사용하므로 효율이 좋고 동력이 절감될 수 있다.

[그림] 전동기의 특성



[그림]은 전동기의 특성을 나타낸 곡선이다. 토크, 역률, 출력 그리고 효율 등은 전동기의 속도가 낮아지면 커졌다 감소하는 성질을 갖고 있다. 또 동기속도에서는 모든 것이 0이 되는 특성도 갖고 있다. 저부하로 운전되면 효율과 역률이 나빠진다.

1) 이승철 외3인, 운전효율 향상을 위한 VVCF-유도전동기 구동시스템의 속도제어, 신기술연구소논문집, 25권, 1996.
2) 김부기, 삼성유도전동기의 가변변동에 따른 효율개선에 관한 연구, 충남대학교 대학원 석사논문, 1983.
3) 한국선급(KR), 선급 및 강선규칙, 적용지침, 제5편 기관장치 제1장, p. 1, 2008.

이론적 고찰

전동기의 속도는 주파수에 비례하므로 속도가 증가하면 전력소모량이 증가하는 것은 당연한 것이며 [식2]은 전동기의 속도를 결정하는 공식인 것이다.

$$[식2] \\ N = \frac{120}{P} f$$

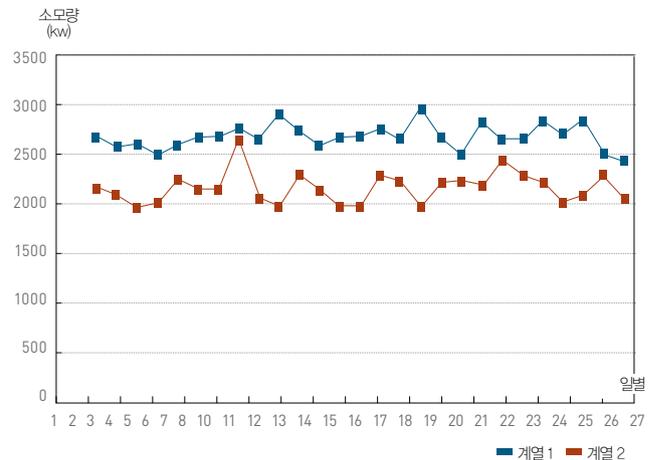
일반적인 전동기는 운전자가 원하는 대로 회전수 제어를 쉽게 할 수 없게 되어 있다. [식2]에서 N은 회전수, P는 전동기의 극수, f는 주파수를 나타내며, 운전자가 원하는 회전수를 조정할 수 있는 방법은 인버터를 이용한 주파수 변환을 이용하여 원하는 회전수로 조절하여 사용할 때 전력소모량 감소와 소음 및 진공감소로 인한 부속품의 절감을 크게 기대할 수 있다.

시스템의 구성과 결과 분석

[그림2]는 1월과 2월 두 달 동안 측정된 전력의 값이다. 계열 1은 인버터를 사용하지 않은 달의 에너지 소비량이고, 계열 2는 인버터구동에 의한 에너지 절감률이다. 이때의 해수 온도는 6℃이며 삼상 유도전동기(440V, 60Hz, 회전수 1,775)의 동일한 펌프를 연속해서

운전한 결과를 나타낸 것이다. 전체 에너지 절감률은 15.8%의 절감이 있었다. 계열 2의 전동기의 주파수는 40Hz로 운전을 하였다. 실험을 실시한 기간이 짧아 연간 절감률은 정확히 알 수 없지만 일년 중 해수 온도가 20℃ 이하인 기간이 약 9개월이므로 3개월을 제외한 나머지 기간은 인버터를 이용하여 회전수를 낮추어 운전해도 아무런 지장이 없는 것으로 입증했고, 인버터를 이용한 가변주파수를 이용하여 전동기의 속도를 제어하면 동력을 줄이면서 효율이 좋은 운전 상태로 유지할 수 있음을 확인하였으며 전력사용량이 평균 15.8% 감소하는 효과를 가져왔다.

[그림2] 일별 전력사용량



[그림3]은 설치 후 4년 된 냉각수 펌프의 임펠러 사진이다. 캐비테이션으로 인한 공식이 발생하여 실제 유량과 수두를 낼 수 없어 교환한 것이다. 인버터를 이용하여 펌프의 속도제어를 한다면 캐비테이션을 크



게 줄일 수 있어 임펠러 수명을 크게 연장할 수 있을 것이다.

[그림3] 침식으로 마모된 해수펌프 임펠러



기대효과

인버터 1조의 설치로 인하여 약 16%의 전력 소비량 감소를 나타냈으며, 파이프 라인, 메카니칼 씰 및 임펠러 등 고가의 기부속 수명 연장 효과를 가져왔다. 기부속의 수명을 설치 개선 전 2년에서 개선 후 5년으로 연장되었다. [그림3]의 임펠러 점검을 계속하고 있으나, 15개월이 지난 현재 마모된 곳을 발견하기가 힘들고 양호한 상태이다. 발열, 진동 및 소음감소에 따른 작업 환경이 개선되고 부적합 사항을 조기 발견할 수 있게 됐다. 펌프 측 발지 발생량 제로화에 따른 Man-hour 감소로 해양오염방지도 크게 개선되었다. 유량과 토출압력의 제어를 효율적으로 할 수 있어 배관부식을 지연시킬 수 있다.

적용분야

첫째, 육상 전원을 사용하는 모든 선박 특히, 관공선은 정박 중 육상전원을 사용하므로 상기 방법을 채택한다면 에너지 절약 및 예산 절감에 크게 기여할 수 있다. 둘째, 짧은 시간에 기술적인 검토를 할 수 있어 시간적 제한이 없이 쉽게 개선할 수 있다. 셋째, 유지보수 비용이 거의 지출되지 않는다. 넷째, 목포해양대학교 실습선 새누리호에는 보조해수 펌프와 에어컨 냉각수 펌프, 냉동기 냉각수 펌프, 해수 냉각 패키지 에어컨 1개소의 통풍 팬 등 3곳에 인버터를 설치하여 운영하고 있다. 이곳은 과도한 통풍으로 소음발생도 있고 온도를 급격하게 내릴 필요가 없으므로 인버터를 사용하여 정격으로 운전할 때의 발생되는 문제와 전력소모량을 줄이고 있다. 현재 목포해양대학교 실습선은 한국선급에서 정한 법규에 따라 건조 및 운항되고 있으며 관련법규에 문제가 없다. 다섯째, 육상 전원을 사용하는 선박에 비해 선박전력을 자체 발전기에 의존하는 항해를 하는 일반선박에서는 전력 절감 효과가 육상전원을 사용하는 곳에 비해 적으나, 이에 관련된 펌프 및 기기 수명 연장으로 인한 예산 절감을 기대할 수 있다. 목포해양대학교 실습선의 경우 정박 중 육상 전원을 사용하여 펌프를 가동하는 선박에서는 큰 기대 효과가 있으나, 냉각의 목적이 아닌 일정한 유량을 요구하는 곳에서는 제한적인 효과가 있다.